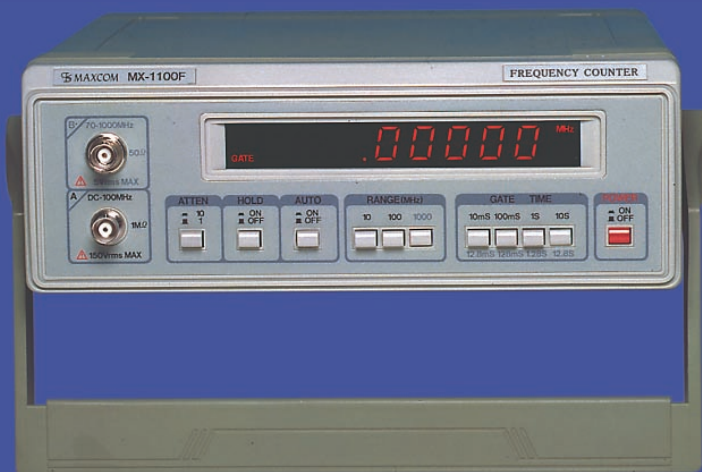




# POZNAJEMY

# PRZYRZĄDY POMIAROWE



Fot. 1 Częstościomierz Maxcom MX-1100F

W poprzednim odcinku z tego cyklu omówiliśmy multimetry cyfrowe - przyrządy, których budowa jest dość prosta, stanowiące jednak podstawowe wyposażenie pracowni każdego elektronika, zarówno profesjonalisty jak i amatora. Obecnie chcielibyśmy przedstawić urządzenia nieco bardziej skomplikowane - częstościomierze cyfrowe.

Częstościomierze (ang. frequency counters) służą do pomiaru częstotliwości sygnałów o dowolnym kształcie, tj. przebiegów elektrycznych zarówno o kształcie sinusoidalnym, prostokątnym czy trójkątnym, jak i sygnałów piłokształtnych, w tym także pojedynczych impulsów. Jeszcze do niedawna powszechnie używane częstościomierze były urządzeniami stacjonarnymi. Upowszechnienie się układów scalonych oraz stały wzrost skali ich integracji (tj. liczby zamieszczonych w nich tranzystorów) doprowadziło do tego, że pomiar częstotliwości są w stanie wykonać nawet niedrogie multimetry cyfrowe. Maksymalna częstotliwość mierzona przez multimetry nie przekracza jednak zwykle 20 MHz. Typowe mierniki częstotliwości to nadal urządzenia stacjonarne. Potrafią one zmierzyć częstotliwość nawet powyżej 1 GHz. Zdarzają się też częstościomierze przenośne w obudowie multimetru, w których pomiarem steruje mikroprocesor.

Podstawowym pomiarem wykonywanym przez częstościomierz jest pomiar częstotliwości sygnału doprowadzonego do jego wejścia. Okres sygnału jest równy odwrotności częstotliwości. Umieszczenie w układzie częstościomierza bloku realizującego prostą operację matematyczną - liczenie odwrotności - umożliwia wzbogacenie go o pomiar okresu sygnału. Rozbudowa częstościomierza polegająca na zastosowaniu w nim mikroprocesora pozwala uzyskać

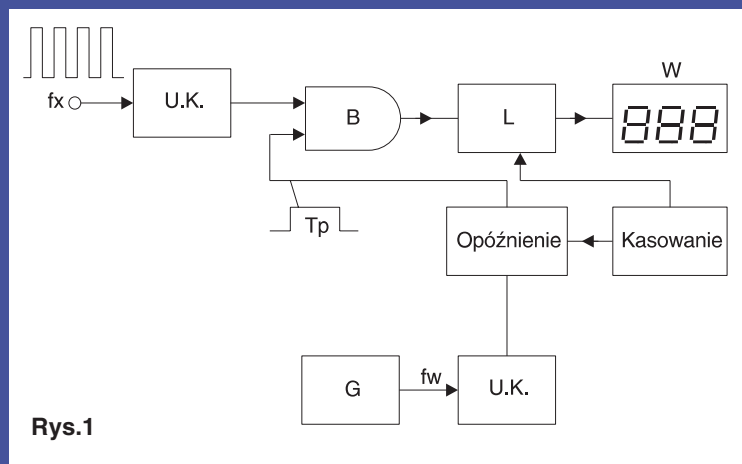
dużo więcej. Wystarczy wymienić takie funkcje jak: Data Hold, pomiar względny, liczenie wartości minimalnej, maksymalnej i średniej. Przy wykonywaniu wszystkich tych funkcji jest wykorzystywana pamięć przyrządu. Na przykład pomiar względny polega na zapamiętaniu wybranej wartości a następnie wyświetlanie stosunku wartości aktualnie zmierzonej do zapamiętanej.

Zmierzona wartość częstotliwości lub okresu sygnału jest przedstawiana na wyświetlaczu. Częstościomierze stacjonarne mają zwykle wyświetlacz zbudowany ze wskaźników siedmio-segmentowych typu LED. Dzięki temu wynik pomiaru jest widoczny także w ciemności. Częstościomierze przenośne, ze względu na potrzebę zminimalizowania poboru prądu baterii zasilającej, korzystają ze wskaźnika ciekłokrystalicznego, tj. typu LCD. Wyświetlacz typowego częstościomierza składa się z ośmiu wskaźników. Umożliwia to wyświetlenie częstotliwości np. 100 MHz z rozdzielczością 1 Hz.

Zasada działania częstościomierza zależy od wartości częstotliwości sygnału jaką ma on zmierzyć i polega ona w ogólności na zliczaniu doprowadzanych do jego wejścia impulsów przez pewien ściśle określony czas.

## Pomiar dużych częstotliwości

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy częstościomierza. Sygnał wejściowy o nieznannej częstotliwości  $f_x$  po



Rys.1

## CZĘŚĆ 3

### Mierniki częstotliwości

## MIERNICTWO

uprzednim wzmocnieniu i ukształtowaniu w układzie UK jest doprowadzany do jednego z wejść bramki B. Do drugiego wejścia bramki B doprowadza się impulsy sterujące. Jeżeli jest to bramka typu AND, to "przepuści" ona sygnał wejściowy tylko wtedy gdy na jej wejściu, tzw. bramkującym będzie panował poziom wysoki, tzn. przez cały czas trwania impulsu sterującego  $T_p$ . Czas  $T_p$  jest czasem pomiaru. W czasie otwarcia bramki impulsy o częstotliwości  $f_x$  są liczone przez licznik L, a wynik pomiaru jest przekazywany do układu sterującego wyświetlaczem W i wyświetlany.

Impulsy sterujące bramką B wytwarza generator. Stałość częstotliwości tych impulsów ma niebagatelny wpływ na dokładność pomiaru częstotliwościomierza. Dlatego też do stabilizacji częstotliwości generatora impulsów sterujących wykorzystuje się tzw. rezonatory kwarcowe.

Bardzo ważną rolę spełnia jeszcze inny układ częstotliwościomierza, tj. układ kasowania (reset). Wytwarza on impulsy zerujące licznik, czyli wymuszające w nim, po zakończeniu pomiaru i wyświetleniu wyniku, stan 0. Impulsy te muszą być doprowadzane do licznika zanim zostanie wysterowana bramka B, tj. zanim zacznie się nowy pomiar. Potrzebne do tego celu opóźnienie realizuje specjalny układ opóźniający.

Dokładność pomiaru częstotliwości opisaną wyżej metodą zależy w głównym stopniu od dokładności ustawienia czasu pomiaru  $T_p$ . Czas ten przyjmuje się zwykle w granicach od 1 ms do 10 s. Jeżeli np. przy pomiarze częstotliwości 1000 Hz czas otwarcia bramki B będzie równy 1 s, to w czasie tym licznik zliczy 1000 impulsów. Jeżeli natomiast czas  $T_p$  będzie równy 1,1 s to na wyświetlaczu pokaże się wartość 1100. Błąd pomiaru wyniesie zatem 10%. Widać stąd jak ważne jest dla uzyskania dokładnego pomiaru, wytworzenie sygnału sterującego o dużej dokładności i stabilności w czasie.

Warto dodać jeszcze parę słów na temat układu formującego impulsy o częstotliwości mierzonej  $f_x$ . Ma on za zadanie odpowiednie ukształtowanie lub przetworzenie sygnału mierzonego (np. sinusoidy) w ciąg impulsów o kształcie i amplitudzie wymaganej przez licznik L. Jeżeli poziom sygnału wejściowego jest za mały, to czułość licznika może okazać się nie wystarczająca do wykonania pomiaru. Zadaniem układu UK jest zatem wzmocnienie sygnału mierzonego do takiej wartości, przy której licznik wykona pomiar poprawnie. Z kolei sygnały o amplitudzie zbyt dużej, zakłócają pracę licznika do tego stopnia, że przestaje on poprawnie liczyć. Mówi się, że sygnały takie powodują przesterowanie układu licznika. Dlatego też w obwodach wejściowych częstotliwościomierzy stosuje się tłumiki sygnału do nich doprowadzanego.

Cechą charakterystyczną wyżej opisanej metody pomiaru częstotliwości jest także zależność dokładności pomiaru od mierzonej częstotliwości  $f_x$  oraz czasu pomiaru  $T_p$ . Dokładność ta jest wprost proporcjonalna do częstotliwości i czasu pomiaru, tzn. im większa jest częstotliwość mierzona i im dłuższy czas pomiaru tym dokładność jest większa.

Górna częstotliwość pomiaru zależy w tej metodzie od szybkości układu logicznego jakim jest licznik impulsów L,



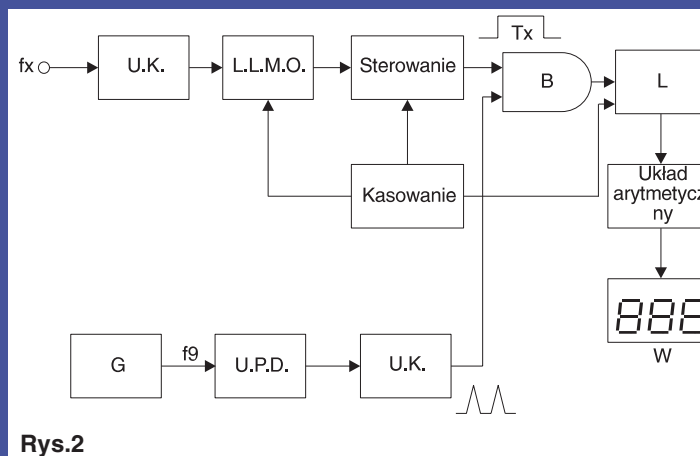
Fot.2 Częstotściomierz Escort EFC-3303

czyli inaczej mówiąc od jego częstotliwości granicznej. Dlatego przy pomiarze częstotliwości wyższych od ok. 500 MHz stosuje się dodatkowe układy dzielące zarówno częstotliwość sygnału mierzonego jak i wytwarzanego przez generator impulsów wzorcowych. Szybkość działania tych układów nie zależy w takim stopniu od częstotliwości jak szybkość licznika. W ten sposób obniża się częstotliwości tych sygnałów do wartości, którą licznik jest w stanie zmierzyć.

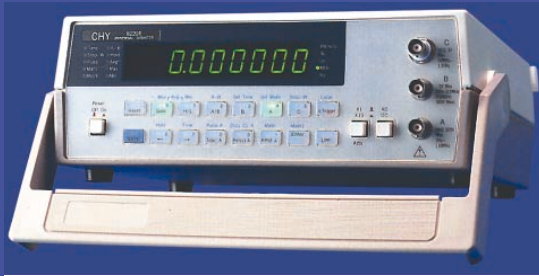
Innym sposobem rozwiązania tego problemu jest zastosowanie układu typu heterodynowego. Działanie takiego układu polega na zmieszaniu sygnału o danej częstotliwości z sygnałem wytwarzanym przez generator, tzw. heterodynę. W wyniku tego procesu powstają sygnały o częstotliwości będącej m. in. różnicą częstotliwości sygnału wejściowego i sygnału heterodyny tj.  $f_x - f_h$ . Ostateczny wynik jest zatem taki sam jak w metodzie poprzedniej. Częstotliwość impulsów doprowadzonych do wejścia licznika jest odpowiednio zmniejszona.

### Pomiar małych częstotliwości

Przy pomiarze małych częstotliwości dokładność pierwszej metody maleje. Czas potrzebny na zliczenie odpowiedniej liczby impulsów, wymaganej do wyświetlenia wy-



Rys.2



Fot.3 Częstościomierz CHY 8220R

niku z odpowiednią dokładnością, gwałtownie rośnie. Na przykład, pomiar i wyświetlenie wyniku pomiaru częstotliwości sygnału równej 10 Hz, z dokładnością 1 % trwa w tym częstościomierzu aż 100 sekund. Dlatego też przy pomiarze takich częstotliwości stosuje się inną metodę, nazywaną metodą pośrednią. Polega ona na pomiarze okresu  $T_x$  zamiast częstotliwości  $f_x$ . Na rys 2 przedstawiono schemat blokowy takiego częstościomierza. Sygnał o częstotliwości  $f_x$  jest doprowadzany z wejścia częstościomierza do układu kształtującego impulsy UF a następnie do licznika liczby mierzonych okresów  $n$ , a stąd za pośrednictwem układu sterującego bramką do jednego z wejść bramki B. Do drugiego wejścia bramki jest doprowadzany sygnał z generatora wzorcowego G. Sygnał ten jest w zależności od potrzeby powielany lub dzielony oraz kształtowany w układach UPD i odpowiednio UK. Licznik L zlicza impulsy nie o częstotliwości  $f_x$  (jak w poprzedniej metodzie), lecz impulsy o częstotliwości  $f_g$ , w czasie otwarcia bramki B. Czas w jakim jest otwarta bramka B jest równy wielokrotności liczby okresów, czyli  $n T_x$ . Jak widać, w metodzie tej wynik pomiaru jest równy iloczynowi liczby okresów  $n$  przez okres  $T_x$  i przez odwrotność okresu  $T_g$ . Zatem aby uzyskać częstotliwość  $f_x$  należy policzyć odwrotność uzyskanego wyniku. Dokonuje się tego w układzie arytmetycznym UA znajdującym się między wyjściem licznika a wyświetlaczem W. Przy pomiarze częstotliwości np. 1 Hz, licznik liczy impulsy o częstotliwości np. 2 MHz, pochodzące z generatora wzorcowego G. W tym celu bramka B jest otwierana co 1 sekundę na czas 0,5 sekundy ( $n=1$ ). W tym czasie licznik zlicza 1000000 impulsów. Układ arytmetyczny UA dołączony do wyjścia licznika liczy następnie odwrotność tej liczby i wynik obliczenia jako ostateczny wynik po-

miaru częstotliwości  $f_x$  sygnału, tj. liczbę 0,000001, przesyła do wyświetlacza W. Wyświetlacz pokazuje wartość 0,000001 MHz czyli 1 Hz.

### Częstościomierze fabryczne, ich funkcje pomiarowe i parametry

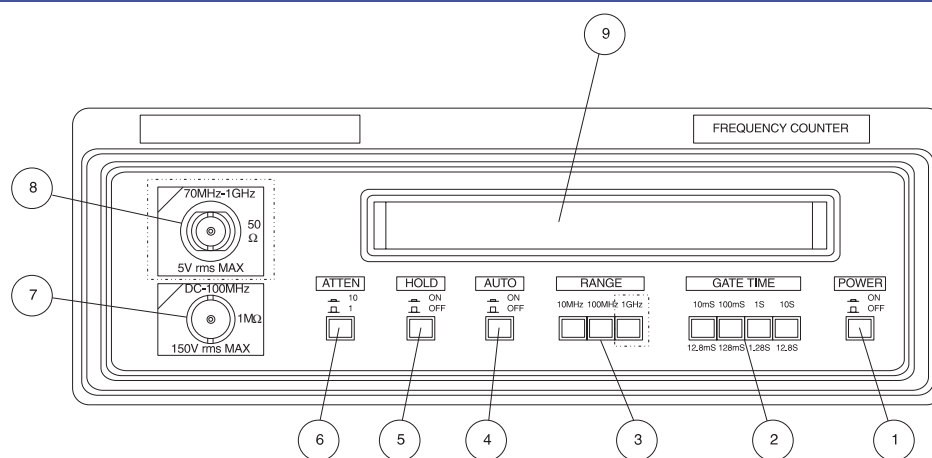
Na rys. 3 przedstawiono wygląd płyty czołowej typowego częstościomierza. Sygnał o częstotliwości mierzonej  $f_x$  doprowadza się do jednego z dwóch wejść (kanałów) częstościomierza. Pierwszy kanał (7) służy do pomiaru częstotliwości sygnałów w zakresie od 0 do 100 MHz, a drugi kanał (8) do pomiaru częstotliwości sygnałów od 70 MHz do 1 GHz. Układy obu kanałów są zwykle oddzielone od siebie za pomocą ekranowania. Ma to na celu zlikwidowanie zjawiska interferencji będącego wynikiem oddziaływania układu jednego kanału na drugi.

Jeżeli sygnał mierzony ma zbyt dużą amplitudę (np. większą od 300 mV) należy włączyć tłumik (6) powodujący dziesięciokrotne osłabienie tego sygnału. Dopuszczalne, tj. maksymalne wartości doprowadzanych sygnałów (z uwzględnieniem tłumienia), są z reguły podawane na płycie czołowej w opisie gniazd.

Przełącznik Range (3) służy do zmiany zakresów pomiarowych. Obok znajduje się przełącznik Gate Time (2) wykorzystywany do ustawienia czasu otwarcia bramki (czasu bramkowania). Im dłuższy czas bramkowania, tym dłużej trzeba czekać na wyświetlenie wyniku pomiaru, lecz tym większa jest rozdzielczość tzn. tym dokładniejszy wynik. Na przykład na zakresie 100 MHz można uzyskać wynik pomiaru podany z dokładnością do 1 kHz przy ustawionym czasie bramkowania 10 ms. Na wynik pomiaru z dokładnością do 1 Hz trzeba już czekać 10s. Dla ułatwienia dobrania właściwego czasu bramkowania co z kolei pozwoli na uzyskanie wyniku z wymaganą rozdzielczością, służy specjalna tablica podawana w instrukcji obsługi częstościomierza.

Pomiar częstotliwości może też być wykonywany automatycznie. Po naciśnięciu przycisku Auto (4), miernik automatycznie wybiera zakres oraz czas bramkowania np. 100 MHz i 1s.

Wyświetlany wynik pomiaru można "zamrozić" na wyświetlaczu (9) przyciskając przycisk Hold (5). Wyświetlacz



Rys.3

## MIERNICTWO

częstościomierza stacjonarnego jest zbudowany z ośmiu wskaźników siedmiosegmentowych typu LED. Do włączenia częstościomierza służy przycisk (1).

Parametry charakteryzujące częstościomierze to (podawane osobno dla każdego kanału): zakres mierzonych częstotliwości, impedancja wejściowa, rozdzielczości, czasy bramkowania, dokładność oraz dane dotyczące tzw. podstawy czasu, czyli wewnętrznego generatora impulsów wzorcowych. Do podstawowych parametrów takiego generatora należy: częstotliwość, stabilność i stabilność długookresowa. Ta ostatnia oznacza dopuszczalną zmianę częstotliwości wzorcowej generatora jaka może dokonać się w ciągu roku eksploatacji częstościomierza i jest podawana w procentach. Stabilność ma zasadniczy wpływ na dokładność pomiaru częstościomierza.

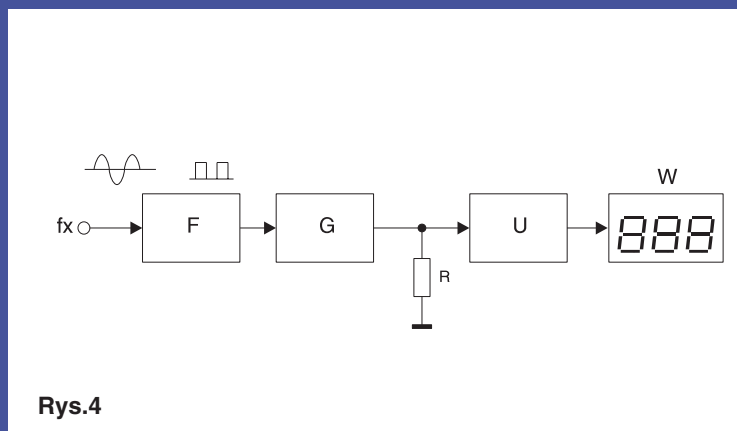
Warto jeszcze powiedzieć parę słów o różnicach między parametrami poszczególnych kanałów częstościomierza. Jak już wspomniano, zakresy częstotliwości obu kanałów są zwykle różne. Kanał A umożliwia np. pomiar częstotliwości sygnałów w zakresie od 1 Hz do 100 MHz, ze zmienną czułością. Impedancja tego kanału wynosi najczęściej 1 MW. Kanał B umożliwiający pomiar np. w zakresie od 70 MHz do 1 GHz charakteryzuje się impedancją wejściową 50W i stałą czułością np 5 V. Również rozdzielczości i czasy bramkowania dla obu kanałów są różne.

Bardziej skomplikowane częstościomierze mają jednak trzy niezależne kanały pomiarowe. Kanały A i B są identyczne. Dokonuje się w nich pomiaru w zakresie np. do 500 MHz metodą bramkowania pośredniego. Dodatkowy kanał C mierzy natomiast częstotliwość sygnałów powyżej 100 MHz metodą bramkowania bezpośredniego.

Te dwa identyczne kanały można wykorzystać np. do dokładnego policzenia odstępów czasowego. Metoda ta polega na policzeniu liczby impulsów w czasie wyznaczonym przez impulsy: "startu" doprowadzonego do kanału A oraz "stopu" doprowadzonego do kanału B, czyli przez bramkowanie realizowane z zewnątrz. Jeżeli częstotliwość generatora wzorcowego wynosi np. 1 MHz, a czas między momentem "startu" i "stopu" wynosi 1 s, to częstościomierz zliczy 106 impulsów, czyli wyświetli liczbę 1000000. Prawidłowy odczyt czasu będzie już tylko wymagał poprawnego ustawienia przecinka dziesiętnego.

Spotyka się też częstościomierze o trzech różnych kanałach. Na przykład w kanale A, najbardziej rozbudowanym, w którym jest też możliwy pomiar okresu, stosunku częstotliwości sygnałów doprowadzonych do kanału A i B, liczby obrotów, współczynnika wypełnienia impulsów, mierzy się częstotliwość w zakresie od 0,04 Hz do 110 MHz z poziomem mniejszym od 300 V. Z kolei drugi kanał, kanał B umożliwia pomiar w zakresie od 10 Hz do 2,5 MHz i to przy poziomie nie przekraczającym 5 V (czyli poziomie TTL). Ostatni trzeci kanał C służy do pomiaru wielkich częstotliwości tj. częstotliwości sygnałów z zakresu od 50 MHz do 1,3 MHz. Impedancja wejściowa takiego kanału jest równa 50W, a maksymalny poziom sygnału wynosi 3 V.

Jak już wspomniano, pomiar częstotliwości umożliwiają też popularne multimetry. Zasada pomiaru w tego typu przyrządach jest jednak zupełnie inna i polega nie na zli-



Rys.4

czaniu liczby impulsów lecz pomiarze napięcia. Na rys. 4 przedstawiono sposób pomiaru częstotliwości za pomocą multimetru. Sygnał mierzony o częstotliwości  $f_x$ , doprowadzony do wejścia przyrządu, jest najpierw wzmacniany we wzmacniaczu W i formowany w układzie F. Na przykład sygnał sinusoidalny jest zamieniany na sygnał prostokątny. Z kolei generator G wytwarza jeden impuls o stałym czasie trwania i stałej amplitudzie. Generator taki nazywa się także generatorem monostabilnym. Impulsy z wyjścia układu formującego F służą do wyzwolenia generatora G, tzn. każdy kolejny impuls z wyjścia układu formującego, doprowadzony na wejście wyzwalające generatora, powoduje wytworzenie jednego impulsu przez generator. Na wyjściu generatora jest umieszczony rezystor R. W trakcie pomiaru przez rezystor ten płynie prąd impulsowy. Średnie napięcie powstające na rezystorze mierzy dołączony do wyjścia generatora woltomierz V. Im większa jest częstotliwość mierzonego sygnału  $f_x$ , tym większa liczba impulsów przepływa w danym czasie przez rezystor R, tzn. zmniejsza się odstęp między kolejnymi impulsami, rośnie tzw. współczynnik wypełnienia, rośnie zatem średni prąd. Rośnie też napięcie wskazywane przez woltomierz. Oznacza to, że napięcie wejściowe woltomierza jest wprost proporcjonalne do częstotliwości  $f_x$ . Jeżeli przyjmijemy teraz, że napięcie o wartości np. 1 mV odpowiada częstotliwości 1 Hz, to napięcie 1V będzie odpowiadało częstotliwości 1 kHz itd.

Na zakończenie jeszcze kilka słów na temat częstościomierzy przenośnych, mieszczących się w obudowie typowego multimetru. Obok funkcji typowych dla częstościomierzy stacjonarnych można spotkać w nich jeszcze inną użyteczną funkcję pomiarową. Polega ona na pomiarze częstotliwości nośnej sygnałów wytwarzanych przez nadajniki radiowe zarówno przenośne, stacjonarne jak i montowane w pojazdach. Jako czujnik do zbierania tych sygnałów służy antena teleskopowa dołączona do wejścia częstościomierza.

W następnym odcinku cyklu omawiającego elektroniczny sprzęt pomiarowy przedstawimy źródła sygnałów tj. generatory.

**Leszek Halicki**